UT1: Principios básicos del sonido

1. Concepto de Sonido....2
2. Ondas Longitudinales, Transversales y Esféricas....3
3. Variables Físicas y Fisiológicas del Sonido....5
4. Caracterización del Sonido: El oído humano. Cualidades del Sonido....7
5. El decibelio (db)....9
6. Presión sonora....10
7. Velocidad del sonido....12
8. Análisis Temporal y Frecuencial....13
9. Curvas Isofónicas. El Fonio....15
10. Rango Dinámico y Bandas de Octava....17
11. Relación Señal-Ruido, Tipos de Ruido y Distorsión....20
12. Escalas y Magnitudes Logarítmicas en Audiovisuales. El Decibelio (dB)....22
13. Medidas Sonoras: Potencia e Intensidad....23
14. Equipos de Medida: Sonómetro, Vúmetro y Analizador de Espectros....24
15. Monofonía y Estereofonía....25
16. Propagación del sonido: Reflexión, Absorción (α), Refracción y Difracción....26
17. Efecto Doppler en Ondas Sonoras....27
18. Efecto Haas....28

1. **Concepto de Sonido**

Definición física del sonido: El sonido es una vibración que se propaga en forma de onda mecánica a través de un medio elástico como el aire, el agua o los sólidos y que puede ser percibida por el oído humano. Desde el punto de vista físico, se trata de una variación de presión que se desplaza en el tiempo y el espacio.

El sonido necesita de un medio material para propagarse, ya que no puede transmitirse en el vacío. Esta necesidad se debe a que el sonido implica la transmisión de energía a través de la interacción entre las partículas del medio.

Naturaleza Mecánica y Ondulatoria: El sonido es una onda mecánica longitudinal, lo que significa que la dirección de la vibración de las partículas del medio coincide con la dirección de propagación de la onda. Cuando una fuente sonora (como una cuerda vibrante o una membrana) vibra, genera compresiones y rarefacciones en el medio, es decir, zonas donde las partículas están más juntas o más separadas respectivamente.

Estas zonas alternantes se propagan desde la fuente en forma de onda:

- Compresión: aumento de presión (partículas más próximas entre sí).
- Rarefacción: disminución de presión (partículas más separadas).

El Sonido como Energía Vibratoria: El sonido se genera por una fuente que vibra a cierta frecuencia. Esta vibración transfiere energía cinética al medio circundante, generando una onda sonora. La energía transportada por una onda sonora puede interactuar con el entorno, reflejarse, ser absorbida o transmitida.

Un ejemplo cotidiano: al golpear una campana, esta vibra y transmite esa vibración al aire. El aire, a su vez, transmite la onda hasta que llega a nuestros oídos.

Condiciones para que Exista el Sonido: Para que se produzca y perciba sonido, se deben cumplir tres condiciones:

1. Una fuente sonora que genera la vibración (voz humana, altavoz, cuerda, etc.).
2. Un medio de propagación (aire, agua, metal, etc.).
3. Un receptor (como el oído humano o un micrófono).

2. Ondas Longitudinales, Transversales y Esféricas

Clasificación de Ondas según la Dirección de Vibración: Las ondas se clasifican según cómo vibran las partículas del medio respecto a la dirección de propagación:

a) Ondas Longitudinales: En este tipo de onda, la vibración de las partículas ocurre en la misma dirección que la propagación de la onda.

- Es el caso típico del sonido en el aire.
- Las partículas del medio no se desplazan permanentemente, solo vibran en torno a su posición de equilibrio.
- Alterna zonas de compresión y rarefacción.

Ejemplo: Cuando hablamos, nuestras cuerdas vocales generan ondas longitudinales en el aire que llegan a los oídos de otra persona.

b) Ondas Transversales: En las ondas transversales, las partículas vibran perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.

- Son características de medios sólidos o de ondas superficiales (como en el agua).
- El sonido no se propaga como onda transversal en gases o líquidos, pero sí puede hacerlo en sólidos.

Ejemplo: Una cuerda vibrando transversalmente transmite energía de un extremo a otro sin que sus partículas avancen en esa dirección.

c) Ondas Superpuestas: Combinadas. En algunos medios, como los sólidos, el sonido puede generar tanto ondas longitudinales como transversales, propagándose de forma combinada.

Ondas Esféricas: Cuando el sonido se propaga en un medio tridimensional (como el aire), se genera una onda esférica si la fuente sonora es puntual y radia uniformemente en todas direcciones.

- A medida que la onda se aleja de la fuente, su energía se dispersa sobre una superficie cada vez mayor.
- Esto provoca una disminución de la intensidad sonora con la distancia (ley del inverso del cuadrado de la distancia).

Fórmula de disminución de intensidad:

$$I=P/4\pi r^2$$

donde:

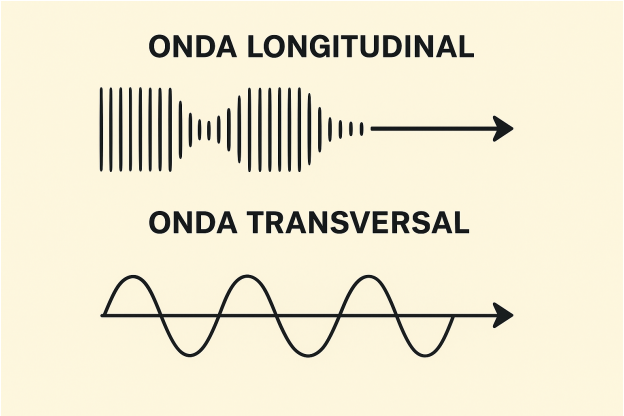
- I: Intensidad sonora
- P: Potencia de la fuente
- r: Distancia desde la fuente

Tipo de onda	Dirección de vibración	Medio típico de propagación	Ejemplo
Longitudinal	Paralela	Aire, líquidos, sólidos	Voz, altavoz, golpes
Transversal	Perpendicular	Sólidos, ondas en superficies	Cuerda, ondas en el agua
Esférica (3D)	Radial	Espacio tridimensional	Fuente sonora puntual

Se expone mejor en estos videos:

https://www.youtube.com/watch?v=c2XjfcZ4T3A

https://www.youtube.com/watch?v=NuJMMXLPUzA



3. Variables Físicas y Fisiológicas del Sonido

El estudio del sonido requiere entender sus características físicas (medibles objetivamente) y fisiológicas (relacionadas con la percepción auditiva). A continuación se describen las principales variables que definen una onda sonora.

Presión Sonora (P): La presión sonora es la variación de presión que provoca una onda sonora respecto a la presión atmosférica en reposo.

- Se mide en Pascales (Pa).
- Es proporcional a la intensidad del sonido.
- Se representa como una onda alternante de compresiones y rarefacciones.

Presión sonora eficaz típica del umbral de audición: $P=20\mu Pa$ (microPascales)

Amplitud de Onda (A): La amplitud es la máxima variación de la presión o desplazamiento respecto a su valor de reposo.

- Se relaciona con la energía del sonido.
- A mayor amplitud, mayor intensidad y sensación de volumen.

Longitud de Onda (λ): Es la distancia que recorre una onda durante un ciclo completo de vibración.

$$\lambda=v/f=vt$$

Donde:

- λ: Longitud de onda (en metros)
- v: Velocidad del sonido en el medio (m/s)
- f: Frecuencia de la onda (Hz)

Ejemplo: A 340 m/s y 170 Hz → λ=2 m\lambda = 2 \, \text{m}λ=2m

Periodo (T): El periodo es el tiempo que tarda la onda en completar un ciclo.

$$T=1/f$$

Se mide en segundos (s).

A frecuencias altas, el periodo es más corto.

Frecuencia (f): La frecuencia indica cuántos ciclos por segundo se producen.

- Unidad: Hertz (Hz)
- El oído humano percibe de aproximadamente 20 Hz a 20 kHz
- Frecuencias bajas = sonidos graves
- Frecuencias altas = sonidos agudos

Fase (φ): La fase describe el desplazamiento relativo de dos ondas con igual frecuencia.

- Se mide en grados (°) o radianes (rad).

- Es importante en fenómenos de interferencia, cancelación y localización espacial del sonido.

Relación entre Variables

Variable	**Símbolo**	**Unidad**	**Relación principal**
Frecuencia	f	Hertz (Hz)	f=1/T
Periodo	t	Segundos (s)	T=1/f
Longitud de onda	λ\lambda	Metros (m)	λ=v/f
Velocidad	v	m/s	Depende del medio (aire ≈ 343 m/s a 20 °C)
Amplitud	A	m o Pa	Relacionada con intensidad
Fase	φ	grados/°	Comparativa de desfase entre ondas

Variables Fisiológicas

Estas variables se relacionan con cómo el ser humano percibe las magnitudes físicas:

Variable Física	**Magnitud Percibida**	**Nombre fisiológico**
Frecuencia	Altura tonal	Tono
Amplitud	Energía/Presión	Volumen (intensidad)
Forma espectral	Riqueza armónica	Timbre
Duración del estímulo	Tiempo	Duración

4. Caracterización del Sonido: El oído humano. Cualidades del Sonido

El oído humano como receptor: El oído humano es un órgano biológico altamente especializado para captar y analizar sonidos. Funciona como un transductor, convirtiendo las ondas sonoras del medio en impulsos eléctricos que el cerebro interpreta.

Estructura del oído:

1. Oído externo: recoge y canaliza las ondas sonoras hacia el tímpano.
2. Oído medio: transmite la vibración mediante los huesecillos (martillo, yunque y estribo).
3. Oído interno: la cóclea convierte la vibración mecánica en impulsos nerviosos gracias a las células ciliadas.

El Proceso de Percepción Sonora: El sonido, al llegar al oído, es analizado según distintas dimensiones que dan lugar a lo que se llaman las cualidades del sonido. Estas cualidades permiten diferenciar sonidos incluso cuando tienen la misma frecuencia o intensidad.

Cualidades del Sonido:

a) Tono (o altura): Está relacionado con la frecuencia de la onda sonora.

- Frecuencias bajas (20–250 Hz) → Graves
- Frecuencias medias (250–2.000 Hz) → Medios
- Frecuencias altas (2.000–20.000 Hz) → Agudos

El tono permite distinguir una nota grave de una aguda.

b) Intensidad: Depende de la amplitud y de la presión sonora. Es la percepción del volumen o fuerza de un sonido.

- Medida objetiva: presión en Pascales o nivel en decibelios SPL.
- Medida subjetiva: si un sonido es fuerte o débil.

c) Timbre: Es la cualidad que distingue dos sonidos de igual frecuencia e intensidad pero generados por fuentes diferentes.

Depende de:

- La forma de onda
- El contenido armónico
- La envolvente temporal

Ejemplo: una nota musical en un piano suena diferente a la misma nota en una guitarra, debido a su timbre.

d) Duración: Es el tiempo durante el cual se mantiene un sonido.

- Influye en la articulación y ritmo.
- Se mide en segundos o milisegundos.

Umbrales de Audición:

- Umbral de audición: nivel mínimo de presión sonora que una persona puede percibir (~20 µPa a 1 kHz).
- Umbral de dolor: presión sonora máxima tolerada sin causar dolor (~120–130 dB SPL).

La sensibilidad del oído varía con la frecuencia, siendo más sensible entre 2.000 y 5.000 Hz.

Percepción Subjetiva vs. Medición Objetiva

Apreciación subjetiva	**Magnitud física**
Tono	Frecuencia (Hz)
Volumen	Presión (Pa), SPL (dB)
Timbre	Espectro armónico
Duración	Tiempo (s)

5. El decibelio (db)

El decibelio (dB) es una unidad relativa que se utiliza para expresar la relación entre dos magnitudes de manera logarítmica.

No mide una cantidad absoluta, sino cuántas veces es mayor o menor una magnitud respecto a otra de referencia.

Se usa en muchos campos: acústica, electrónica, telecomunicaciones, óptica, etc.

La fórmula general es:

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$

Donde:

- L: Nivel en decibelios
- P_1: Magnitud que medimos
- P_0: Magnitud de referencia

Notas importantes:

- Cuando la magnitud es potencia (energía por unidad de tiempo), se usa el factor 10 en la fórmula.
- Cuando la magnitud es amplitud (tensión, presión, corriente, etc.), se usa el factor 20, porque la potencia depende del cuadrado de la amplitud:

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{A_1}{A_0} \right)$$

Ejemplos generales

- Electrónica:
  Comparar tensiones o corrientes (por ejemplo, ganancia de un amplificador en dB).
- Telecomunicaciones:
  Pérdidas en cables o antenas (dB de atenuación).
- Acústica:
  Niveles de presión sonora (dB SPL).

Importante: el decibelio siempre necesita un valor de referencia.

Si no se indica, no sabremos a qué magnitud absoluta corresponde (por eso existen variantes como dB SPL, dBm, dBV, etc.).

6. Presión sonora

La presión sonora es la variación de presión que provoca una onda sonora en el aire (o en otro medio) respecto a la presión atmosférica en reposo.

Por definición: P=F/S, expresado en N/m^2.

Se mide en pascales (Pa), aunque normalmente se expresa en decibelios de presión sonora (dB SPL), usando como referencia la presión mínima que el oído humano percibe:

$$P_{ref}=20\ \mu Pa \quad (0\ dB\ SPL)$$

En decibelios se calcula así:

$$Nspl = 20 * log_{10} \left(\frac{P}{Pr}\right)$$

Donde:

- N_{SPL} = nivel de presión sonora (dB SPL)=$Nspl$
- P = presión medida (Pa)
- P_{ref}= 20 μPa

Ejemplo práctico

Si en una sala se mide una presión sonora de 0,2 Pa, el nivel en decibelios será:

$N_{SPL}=20\log10(0{,}2/20\times10^{-6})$ = 80 dB SPL

Es decir, un sonido con 0,2 Pa corresponde a 80 dB SPL, aproximadamente el nivel de una calle con tráfico moderado.

Recuerda: el oído humano puede detectar presiones desde unos 20 μPa (0 dB SPL) hasta unos 20 Pa (≈120 dB SPL).

A partir de 120 dB SPL el sonido se vuelve doloroso y puede dañar el oído.

Respecto a los niveles típicos de presión sonora:

- Cada incremento de 10 dB representa aproximadamente el doble de sonoridad percibida (aunque depende de la frecuencia y de cada persona).
- A partir de 85 dB SPL la exposición prolongada puede dañar la audición; se recomienda protección.
- Los valores pueden variar según el entorno, distancia a la fuente y condiciones acústicas.

1 Pa= 1 N/m^2= 10^{-5} bar

1 atm= 760 mbar=0,76 bar

Nivel (dB SPL)	Presión aprox. (Pa)	Fuente sonora típica
0 dB	0,00002	Umbral de audición: oído humano más sensible en laboratorio
10 dB	0,00006	Respiración tranquila a 1 m
20 dB	0,0002	Susurro suave, estudio de grabación muy silencioso
30 dB	0,0006	Murmullo, biblioteca silenciosa
40 dB	0,002	Habitación tranquila
50 dB	0,006	Conversación en tono bajo
60 dB	0,02	Conversación normal a 1 m
70 dB	0,06	Calle con tráfico ligero, aspiradora
80 dB	0,2	Tráfico intenso, cortacésped
90 dB	0,6	Motocicleta a corta distancia
100 dB	2	Taladro neumático, discoteca
110 dB	6	Concierto de rock cerca del escenario
120 dB	20	Umbral del dolor, sirena cercana

7. Velocidad del sonido

La velocidad del sonido es la rapidez con la que una onda sonora se propaga a través de un medio (aire, agua, metal, etc.).

Es la distancia que recorre una perturbación sonora por unidad de tiempo en un medio material.

Depende de las propiedades del medio: densidad, temperatura, presión, rigidez, etc.

La velocidad del sonido v se obtiene, en un medio elástico, con:

$$v = \sqrt{E/\rho}$$

Donde:

- E = módulo elástico del medio (puede ser el módulo de compresibilidad o de Young, según el caso)
- ρ = densidad del medio

En el aire (a temperatura ambiente)

Cuando el medio es el aire, suele usarse la aproximación:

$$v \approx 331 + 0.6 * T \text{ m/s}$$

T = temperatura del aire en °C

v en m/s

Por ejemplo, a 20 °C:

v=331+0.6(20)= 331 + 0.6(20) =343m/s

Valores aproximados de la velocidad del sonido

Medio	Velocidad (m/s)
Aire (20 °C)	343
Agua (25 °C)	1498
Acero	5960

8. Análisis Temporal y Frecuencial

El análisis de una señal sonora se puede realizar desde dos perspectivas complementarias:

- Análisis temporal: cómo varía la señal a lo largo del tiempo.
- Análisis frecuencial: qué componentes de frecuencia contiene esa señal.

Análisis Temporal: El dominio temporal muestra la evolución de la onda sonora en función del tiempo. Se representa mediante una forma de onda, donde:

- El eje horizontal (x) representa el tiempo (s)
- El eje vertical (y) representa la amplitud (presión sonora o voltaje)

Usos del análisis temporal:

- Visualizar la envolvente de un sonido (inicio, desarrollo, sostenimiento y caída)
- Detectar transitorios (golpes, ataques)
- Verificar la duración y forma del pulso sonoro

Ejemplo:

Una señal grabada con un micrófono mostrará una forma de onda compleja con múltiples picos y valles.

Análisis Frecuencial: El análisis frecuencial permite descomponer una señal en sus componentes de frecuencia.

Esto se hace mediante herramientas como:

- Transformada de Fourier (FFT): convierte una señal del dominio temporal al dominio de las frecuencias.
- Espectrogramas: muestran cómo varía el contenido en frecuencia a lo largo del tiempo.

Representación espectral

- Eje x: frecuencia (Hz)
- Eje y: amplitud o nivel (dB)
- Permite identificar:
    - Frecuencia fundamental
    - Armónicos
    - Ruido de fondo

Comparativa entre Dominio Temporal y Frecuencial

Dominio Temporal	**Dominio Frecuencial**
Forma de onda	Espectro de frecuencias
Eje x: Tiempo	Eje x: Frecuencia
Eje y: Amplitud/Presión	Eje y: Nivel (dB)
Útil para observar ataques y silencios	Útil para identificar componentes tonales y ruido

Herramientas de Visualización y Análisis:

- Osciloscopio: muestra la forma de onda en tiempo real
- Analizador de espectros: representa el espectro de frecuencias
- Software de audio (DAW): herramientas como Audacity, Reaper o Pro Tools ofrecen visualización mixta (forma de onda y espectro)
- Espectrograma: gráfico tridimensional que combina tiempo, frecuencia e intensidad (representada por color o escala de grises)

Aplicaciones Prácticas:

- En grabación: ecualización basada en el espectro
- En mantenimiento de equipos: detección de ruidos anómalos
- En acústica: estudio de resonancias y modos de sala
- En electrónica: análisis de señales de audio en circuitos

9. Curvas Isofónicas. El Fonio

¿Qué son las Curvas Isofónicas? Las curvas isofónicas (también llamadas curvas de igual sonoridad) representan el nivel de presión sonora necesario a distintas frecuencias para que un sonido sea percibido con la misma intensidad aparente por el oído humano.

Estas curvas muestran que la percepción de la intensidad sonora no es lineal ni uniforme en todas las frecuencias. Por ejemplo:

- Somos más sensibles a frecuencias entre 2.000 y 5.000 Hz (zona del habla humana).
- Necesitamos niveles más altos para percibir sonidos graves (<100 Hz) o muy agudos (>10.000 Hz) al mismo volumen subjetivo.

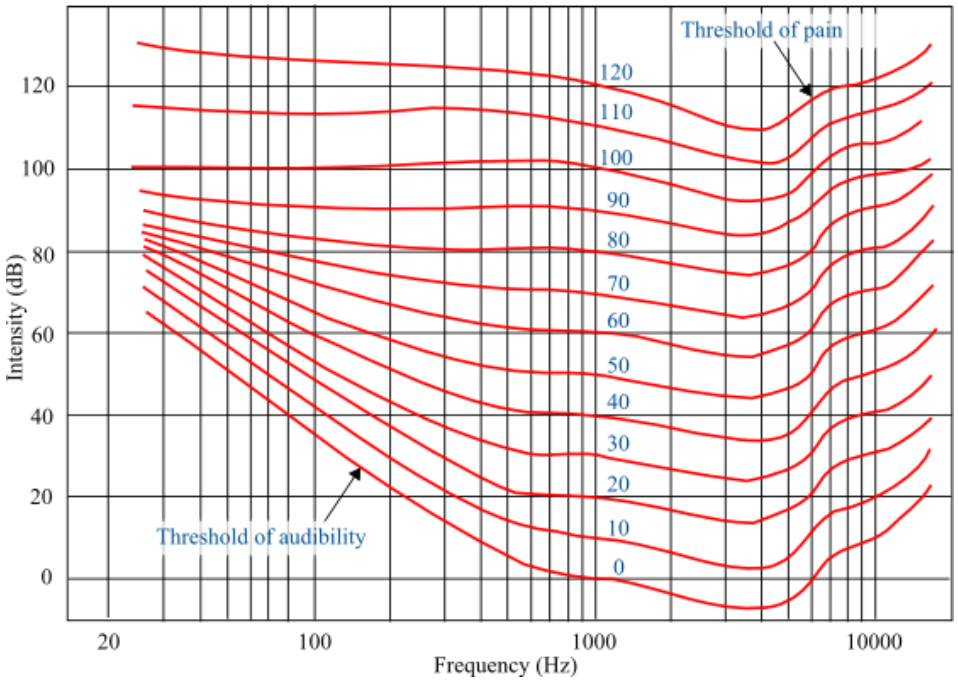
Unidades: Fonio (phon):

- El fonio es la unidad que se usa para medir la intensidad percibida (no la intensidad física).
- Por definición:

  Un tono puro de 1.000 Hz a 40 dB SPL tiene 40 fones de sonoridad.

Así, una curva de 40 fones indicará el nivel necesario en otras frecuencias para que ese sonido se perciba igual de fuerte que 40 dB SPL a 1.000 Hz.

Gráfica: Curvas de Sonoridad (Fletcher y Munson)



Fuente: Wikimedia Commons – Curvas de igual sonoridad (ISO 226:2003)

Interpretación del gráfico:

- El eje horizontal muestra la frecuencia (Hz).

- El eje vertical muestra la presión sonora (dB SPL).
- Cada línea representa una curva isofónica (por ejemplo, 20, 40, 60, 80 fones...).
- Las curvas se aplanan a niveles altos: el oído iguala mejor la percepción de volumen en todo el espectro a partir de ~80 dB SPL.

Aplicaciones Prácticas:

- Diseño de sistemas de audio: ecualización que compense las diferencias de percepción.
- Normas de seguridad auditiva: se ajustan a la sensibilidad real del oído, no solo a los dB SPL.
- Mediciones acústicas ponderadas: por ejemplo, los sonómetros usan el filtro A (ponderación A) que simula la respuesta del oído humano según las curvas isofónicas.

10. Rango Dinámico y Bandas de Octava

Rango Dinámico: El rango dinámico es la diferencia entre el sonido más suave y el más fuerte que puede percibir un sistema, ya sea el oído humano, un dispositivo de grabación o un sistema de reproducción.

a) Rango dinámico del oído humano

- Mínimo nivel audible: ~0 dB SPL (20 µPa a 1 kHz)
- Umbral de dolor: ~120–130 dB SPL
- Rango dinámico ≈ 120 dB

Esto significa que el oído humano puede detectar variaciones de presión sonora ¡de más de un millón de veces entre el sonido más débil y el más fuerte tolerable!

b) Rango dinámico en audio profesional

Sistema	Rango dinámico típico
Cinta magnética	~60–70 dB
CD de audio (16 bits)	96 dB
Audio digital 24 bits	144 dB
Micrófono condensador	90–130 dB

Bandas de Octava: Para el análisis del espectro audible, se divide el rango de frecuencias en bandas de octava o tercios de octava, lo que facilita el estudio acústico y el diseño de sistemas de sonido.

a) ¿Qué es una octava?

Una octava es el intervalo entre dos frecuencias donde una es el doble de la otra.

$$f_2=2\cdot f_1$$

Ejemplo:

- 125 Hz → 250 Hz → 500 Hz → 1.000 Hz → 2.000 Hz → 4.000 Hz → 8.000 Hz

b) Bandas de 1/1 octava

Las bandas de octava entera se centran en frecuencias específicas, denominadas frecuencias centrales normativas:

Banda de octava	Frecuencia central (Hz)
Baja	31,5 – 63 – 125
Media	250 – 500 – 1.000
Alta	2.000 – 4.000 – 8.000

Si fc es la frecuencia central de la banda:

$$f_{\text{inf}} = \frac{f_c}{\sqrt{2}} \qquad f_{\text{sup}} = f_c \cdot \sqrt{2}$$

- fin: límite inferior de la banda
- fsup: límite superior de la banda
- fc: frecuencia central (Hz)

Cada banda de octava cubre un factor 2 en frecuencia.

Para la banda de octava con centro en 1000 Hz:

fin=1000/$\sqrt{2}$≈707 Hz

fsup=1000·2≈1414 Hz

Las frecuencias centrales estándar (en Hz) suelen ser:

| 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 16000 |

Aplicaciones

- Medición y análisis de ruido ambiental e industrial.
- Evaluación acústica de salas y auditorios.
- Diseño y ajuste de sistemas de sonido (altavoces, ecualización).
- Estudios de aislamiento acústico.

c) Bandas de 1/3 de octava

- Más precisas: dividen cada octava en 3 partes:

$$f_S=2^{1/3}*f_1$$

- Muy utilizadas en análisis profesional y medidas de acústica arquitectónica.
- Existen 31 bandas en el rango audible.

Las bandas de tercio de octava son divisiones más finas del espectro sonoro que las bandas de octava completa.

Cada octava se divide en tres partes iguales (de ahí su nombre).

Una banda de 1/3 de octava es un intervalo de frecuencias en el que la frecuencia superior e inferior guardan esta relación con la frecuencia central fc:

$$f_{\text{inf}} = \frac{f_c}{\sqrt[6]{4}} \approx \frac{f_c}{1.122}$$

$$f_{\text{sup}} = f_c \cdot \sqrt[6]{4} \approx f_c \cdot 1.122$$

La anchura de banda es tal que tres bandas consecutivas cubren una octava completa.

Frecuencias centrales normalizadas (ISO 266)

Algunas frecuencias centrales típicas de 1/3 de octava (Hz):

| 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 | 12500 | 16000 |

Aplicaciones:

- Medición acústica: los analizadores de espectro miden en bandas de octava para evaluar el comportamiento del sonido en un recinto.
- Diseño de filtros y ecualización: los ecualizadores gráficos se basan en estas bandas.
- Ruido industrial y normas: las normativas ambientales y laborales suelen establecer límites en bandas específicas.

11. Relación Señal-Ruido, Tipos de Ruido y Distorsión

Relación Señal-Ruido (SNR): La relación señal-ruido (SNR, Signal-to-Noise Ratio) es una medida que compara el nivel de una señal deseada con el nivel del ruido de fondo no deseado.

$$SNR=10\log_{10}(P_{señal}/P_{ruido})[dB]$$

- P señal: Potencia de la señal útil
- P ruido: Potencia del ruido

Importancia

- Cuanto mayor sea la SNR, mejor calidad tiene la señal.
- Valores típicos:
    - Audio profesional: ≥ 90 dB
    - Equipos domésticos: 60–80 dB
    - Audio en vivo: suele ser menor por el ruido ambiental.

Tipos de Ruido: El ruido es cualquier señal no deseada que se superpone a la señal útil y puede afectar la calidad.

a) Ruido Blanco

- Contiene todas las frecuencias con igual potencia.
- Ejemplo: estática en una radio sin sintonizar.
- Es una referencia común para pruebas acústicas.

b) Ruido Rosa

- Potencia disminuye 3 dB por octava al aumentar la frecuencia.
- Tiene potencia constante por banda de octava.
- Más parecido a ruidos naturales y usado en audio para pruebas.

c) Ruido Marrón (Browniano)

- La potencia cae 6 dB por octava.
- Sonido más grave, menos brillante que el rosa o blanco.

d) Ruido Ambiental

- Proviene del entorno (tráfico, máquinas, voces).
- Su espectro varía y es impredecible.

Distorsión: La distorsión es la alteración no deseada de la señal original durante la transmisión o procesamiento.

a) Tipos de distorsión

- Distorsión armónica: aparecen frecuencias adicionales que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

- Distorsión de intermodulación: combinación de dos o más frecuencias que generan productos no armónicos.
- Distorsión de fase: cambio en la relación de fase entre componentes de frecuencia.
- Distorsión de amplitud: variaciones no lineales en la amplitud.

b) Medición de la distorsión

- Se expresa como THD (Total Harmonic Distortion), porcentaje de la potencia de los armónicos respecto a la señal original.
- Valores bajos de THD indican alta fidelidad.

Importancia en sistemas de audio:

- Una buena relación señal-ruido y baja distorsión son claves para la calidad del audio.
- En grabación, mezcla y reproducción se usan filtros y procesadores para minimizar ruido y distorsión.

12. Escalas y Magnitudes Logarítmicas en Audiovisuales. El Decibelio (dB)

¿Por qué usar escalas logarítmicas? Las magnitudes relacionadas con el sonido (presión, potencia, intensidad) varían en rangos muy amplios, desde sonidos apenas audibles hasta niveles que causan dolor.

- La escala lineal no es práctica para representar estos rangos.
- El oído humano percibe el sonido de forma logarítmica: un cambio multiplicativo en la intensidad se percibe como un cambio aditivo en volumen.

Definición del Decibelio (dB): El decibelio es una unidad logarítmica que expresa la relación entre dos magnitudes físicas, generalmente potencias o intensidades.

$$L=10\log_{10}(P/P^0)[dB$$

- L: nivel en decibelios
- P: potencia medida
- P_0: potencia de referencia

Para magnitudes proporcionales a la amplitud (como presión o voltaje), la fórmula es:

$$L=20\log_{10}(A/A_0)$$

Porque la potencia es proporcional al cuadrado de la amplitud.

Aplicaciones del Decibelio en Audiovisuales:

- Nivel de presión sonora (SPL): se mide en dB con referencia a Pa=20 μPa, el umbral de audición humana.
- Nivel de potencia: para caracterizar fuentes sonoras o equipos.
- Ganancia y atenuación en amplificadores y mezcladores.
- Relación señal-ruido y distorsión.

Ejemplos prácticos

- Un sonido de 60 dB SPL es un millón de veces más intenso que el umbral de audición (0 dB SPL).
- Si una señal tiene un voltaje diez veces mayor que otra, la diferencia en dB es:

$$20\log_{10}(10)=20\text{ dB}$$

Notación científica y logarítmica

- La notación científica simplifica la escritura de números muy grandes o pequeños (e.g., 1×10^{-12}).
- El uso combinado de notación científica y decibelios facilita cálculos y comprensión en sistemas audiovisuales.

13. Medidas Sonoras: Potencia e Intensidad

Potencia Sonora: La potencia sonora (Watt, W) es la cantidad total de energía acústica que una fuente sonora emite por unidad de tiempo en todas direcciones.

- Es una magnitud objetiva y no depende del entorno ni de la distancia a la fuente.
- Se mide en vatios (W).
- Ejemplo: un altavoz puede emitir una potencia sonora de 10 W.

Intensidad Sonora: La intensidad sonora (W/m²) es la potencia acústica que atraviesa una unidad de área perpendicular a la dirección de propagación del sonido.

- Es una magnitud vectorial que indica la energía que llega a un punto del espacio.
- Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m²).
- Depende de la distancia a la fuente y las condiciones del medio.
- Fórmula general: $I=P/S$

Donde:

- I es la intensidad sonora en W/m²
- P es la potencia sonora en W
- S es el área de la superficie (m²) por donde se propaga el sonido

Relación entre Potencia, Intensidad y Nivel Sonoro:

- El nivel de intensidad sonora se expresa en decibelios (dB) y se calcula con:

$$L_I=10\log_{10}(I/I_0)[dB]$$

donde:

- I es la intensidad sonora medida
- $I_0=10^{-12}$ W/m^2 es el umbral de audición (intensidad de referencia)
- De forma análoga, el nivel de potencia sonora se expresa como:

$$L_W=10\log_{10}(P/P_0)[dB]$$

donde:

- P es la potencia sonora medida
- $P_0=10^{-12}$ W es la potencia sonora de referencia

Ejemplo práctico

- Una fuente sonora que emite una potencia de $P=10^{-6}$W
- Área de propagación es $S=1$ m^2

La intensidad sonora en ese punto es:

$I=10^{-6}$W/1 m^2=10^{-6}W/m2

El nivel de intensidad sonora será:

$$L_I=10*\log_{10}(10^{-6}/10^{-12})=60dB$$

14. Equipos de Medida: Sonómetro, Vúmetro y Analizador de Espectros

Sonómetro: El sonómetro es el instrumento diseñado para medir el nivel de presión sonora (SPL) en dB.

- Se compone de un micrófono especializado que capta el sonido y un circuito electrónico que procesa la señal.
- Tiene diferentes ponderaciones, siendo la ponderación A (dBA) la más usada, ya que imita la sensibilidad del oído humano.
- Permite medir el ruido ambiental, niveles en fábricas, auditorios, etc.
- Se pueden configurar con tiempos de respuesta rápida o lenta para captar sonidos transitorios o continuos.

Vúmetro: El vúmetro es un dispositivo que indica el nivel de una señal eléctrica de audio, principalmente en equipos de grabación y sonido.

- Muestra la amplitud de la señal en unidades relativas (por ejemplo, dBFS en digital).
- Se utiliza para evitar la saturación y distorsión por niveles excesivos.
- Tipos comunes:
    - Analógico: con aguja y escala graduada.
    - Digital: barras LED o LCD que indican la intensidad.

Analizador de Espectros: El analizador de espectros es un equipo que descompone una señal sonora en sus componentes de frecuencia.

- Representa gráficamente la amplitud de cada frecuencia (espectro).
- Permite identificar frecuencias dominantes, armónicos, ruido y problemas acústicos.
- Es fundamental en acústica, electrónica, y producción musical.
- Puede ser hardware dedicado o software en ordenadores.

Error en la medida y Precisión:

- Todo equipo de medida tiene un margen de error.
- Factores que afectan la precisión:
    - Calidad y calibración del micrófono.
    - Condiciones ambientales (temperatura, humedad).
    - Posición y orientación de la medición.
- La notación científica se usa para expresar niveles muy grandes o pequeños con claridad.

15. Monofonía y Estereofonía

Monofonía (Mono): La monofonía se refiere a la reproducción o grabación de sonido a través de un único canal.

- Todos los sonidos se mezclan y se transmiten por el mismo canal.
- La ubicación espacial del sonido no se percibe; el sonido parece venir de un punto único.
- Uso común en radios antiguas, teléfonos, y algunas grabaciones históricas.

Estereofonía (Estéreo): La estereofonía implica el uso de dos canales independientes para reproducir sonido.

- Permite crear una sensación espacial o direccional al oyente.
- Los dos canales (izquierdo y derecho) reproducen señales similares pero no idénticas, permitiendo la percepción de la ubicación del sonido.
- Es el estándar en música, cine y televisión modernos.

Diferencias clave entre Mono y Estéreo

Característica	Mono	Estéreo
Canales	1	2
Localización espacial	No perceptible	Sí, dirección y profundidad
Equipo necesario	Simple	Dos altavoces o auriculares
Uso típico	Comunicación, telefonía	Música, cine, multimedia

Técnicas y Equipos para Estereofonía:

- Grabación con dos micrófonos separados (técnica XY, ORTF, AB).
- Mezcladores con canales independientes.
- Sistemas de altavoces que mantienen separación izquierda/derecha.

Importancia en la experiencia auditiva: La estereofonía mejora la sensación de realismo y espacialidad, permitiendo distinguir posiciones de instrumentos y voces, haciendo la experiencia sonora más envolvente y natural.

16. Propagación del sonido: Reflexión, Absorción (α), Refracción y Difracción

Reflexión: La reflexión del sonido ocurre cuando una onda sonora encuentra una superficie dura y cambia su dirección, rebotando en ella.

- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.
- Produce ecos y reverberación en espacios cerrados.
- La reflexión es clave en la acústica arquitectónica para controlar la calidad sonora en auditorios y estudios.

Absorción (Coeficiente α): La absorción es la capacidad de un material para retener o disipar la energía sonora.

- Se mide mediante el coeficiente de absorción acústica α\alphaα, que varía entre 0 y 1:
  - α=0: superficie totalmente reflectante (sin absorción).
  - α=1: superficie totalmente absorbente (sin reflexión).
- Materiales porosos, cortinas, alfombras y paneles acústicos tienen valores altos de α.

Refracción: La refracción se produce cuando una onda sonora cambia su dirección al atravesar medios con diferentes propiedades (por ejemplo, cambios de temperatura o presión en el aire).

- Es la causa de que el sonido pueda curvarse o “doblarse” en la atmósfera.
- Afecta la propagación en exteriores, modificando la percepción de la dirección del sonido.
- Reflexión (R) : $\theta_i=\theta_r$
- Absorción: $\alpha=E_a/E_i$
- Refracción: $n_i*\text{sen}\ \theta_i= n_t*\text{sen}\ \theta_t$
  Como $n=c/v$, $v_t*\text{sen}\ \theta_i= n_i*\text{sen}\ \theta_t$
- Transmisión: $\zeta=E_t/E_i$
- Balance de energía mecánica: R+T+A=1

Difracción: La difracción ocurre cuando una onda sonora pasa alrededor de un obstáculo o a través de una abertura y se curva.

- Permite que el sonido se propague incluso si hay obstáculos en el camino.
- Es más pronunciada en sonidos de baja frecuencia (ondas largas).
- Importante en el diseño de sistemas de sonido y en el aislamiento acústico.

17. Efecto Doppler en Ondas Sonoras

¿Qué es el Efecto Doppler? El Efecto Doppler es el cambio aparente de la frecuencia de una onda sonora debido al movimiento relativo entre la fuente del sonido y el receptor (observador).

- Si la fuente y el receptor se acercan, la frecuencia percibida aumenta (sonido más agudo).
- Si se alejan, la frecuencia percibida disminuye (sonido más grave).

Explicación física: Cuando la fuente se mueve hacia el receptor, las ondas se comprimen, reduciendo la longitud de onda y aumentando la frecuencia.

Cuando la fuente se aleja, las ondas se estiran, aumentando la longitud de onda y disminuyendo la frecuencia.

Fórmula del Efecto Doppler para sonido:

$$f' = f \cdot \frac{v + v_o}{v + v_s}$$

donde:

- f'= frecuencia observada
- f = frecuencia emitida
- v = velocidad del sonido en el medio (≈ 343 m/s en aire)
- v_o = velocidad del observador (positiva si se acerca a la fuente)
- v_s = velocidad de la fuente (positiva si se aleja del observador)

Ejemplo práctico: Un coche con la sirena a 1.000 Hz se acerca a un peatón a 20 m/s. Velocidad del sonido en aire: 343 m/s.

Frecuencia percibida: $f'=1000\times343+0343-20=1000\times343323\approx1062$ Hz

Cuando el coche se aleja: $f'=1000\times343+0343+20=1000\times343363\approx945$ Hz

Aplicaciones del Efecto Doppler:

- Sirenas de emergencia, radares de velocidad.
- Análisis en medicina (Doppler ultrasónico).
- Astronomía y física para medir velocidades de objetos.

18. Efecto Haas

El efecto Haas (también llamado efecto de precedencia) es un fenómeno psicoacústico que explica cómo percibimos la dirección de un sonido cuando este llega a nuestros oídos desde diferentes fuentes con un ligero retraso temporal.

En qué consiste:

Si un mismo sonido llega desde dos altavoces (o fuentes) separados, pero uno de ellos emite el sonido ligeramente antes que el otro (con una diferencia de entre 1 y 30 milisegundos), nuestro cerebro localiza el origen del sonido en la primera fuente.

Sin embargo, seguimos percibiendo cierta sensación de amplitud y espacialidad, ya que el retraso crea un efecto de “eco fusionado” en lugar de dos sonidos separados.

Rangos de tiempo:

- 0–1 ms → El sonido se percibe como uno solo, proveniente de un punto intermedio.
- 1–5 ms → Se percibe un solo sonido, localizado en la primera fuente.
- 5–30 ms → Se sigue localizando en la primera fuente, pero con mayor sensación de espacio.
- Más de 30 ms → El cerebro empieza a distinguirlo como un eco o repetición independiente.

Aplicaciones:

- Sonido en vivo y grabación: se usa para crear sensación de estéreo y profundidad sin perder nitidez.
- Sonido envolvente y cine: ayuda a dirigir la atención del oyente a un punto específico de la escena sonora.
- Psicoacústica en arquitectura: en teatros, auditorios e iglesias se aprovecha para mejorar la inteligibilidad de la voz.

En resumen: el efecto Haas permite al oído localizar la dirección del sonido según la primera onda que llega, mientras que el resto de las reflexiones o retardos cortos enriquecen la sensación espacial.